

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

**Изучение программ регулирования
двигателя НК-12СТ**

Электронные методические указания к лабораторной работе

САМАРА

2011

Составители: **Макарьянц Георгий Михайлович,**
Крючков Александр Николаевич,
Родионов Леонид Валерьевич,
Шахматов Евгений Владимирович,
Илюхин Владимир Николаевич

Изучение программ регулирования двигателя НК-12СТ [Электронный ресурс] :
электрон. метод. указания к лаб. работе/ М-во образования и науки РФ, Самар. гос.
аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. Г. М. Макарьянц, А. Н.
Крючков, Л. В. Родионов, Е. В. Шахматов, В. Н. Илюхин. - Электрон. текстовые и
граф. дан. (0,96 Мбайт). - Самара, 2011. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В пособии приведены пояснения и методические указания для выполнения лабораторной работы студентами. Рассматривается возможность реализации системы автоматического управления газотурбинного двигателя НК-12СТ на основе программируемого логического контроллера ОВЕН-150. Показана работа такой системы на основных режимах работы двигателя НК-12СТ.

Методические указания предназначены для студентов
2 факультета, обучающихся по специальности 160301.65 «Авиационные
двигатели и энергетические установки», изучающих дисциплину «Автоматика и
регулирование авиационных двигателей и энергетических установок» в 9
семестре.

Разработано на кафедре АСЭУ.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 <u>Основные сведения о двигателе</u>	5
1.1 <u>Краткое описание конструкции двигателя</u>	5
1.2 <u>Принцип работы двигателя</u>	7
2 <u>Система регулирования двигателя</u>	8
2.1 <u>Агрегаты топливорегулирующей системы</u>	9
2.2 <u>Агрегаты механизации компрессора системы регулирования двигателя</u>	20
<u>Контрольные вопросы</u>	29
<u>Список использованных источников</u>	30

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наряду с применением газотурбинных двигателей (ГТД) в качестве авиационных силовых установок их используют и в наземной энергоемкой технике. Перечень таких наземных установок обширен: энергетические и газоперекачивающие агрегаты; силовые установки морских и речных судов; газоструйные установки для очистки взлетно-посадочных полос аэродромов и другие. Наибольшее распространение получили газоперекачивающие комплексы на основе ГТД.

Одной из основных отличительных особенностей наземных и авиационных ГТД является монорежимность работы и инерционность приводных объектов. Эти отличия обуславливают необходимость разработки специальных устройств автоматики наземных ГТД. Система автоматического управления (САУ) наземных ГТД должна обеспечить функции управления, контроля и защиты в течение длительного времени безаварийной работы.

1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДВИГАТЕЛЕ

1.1 Краткое описание конструкции двигателя

Двигатель НК-12СТ является турбовальным газотурбинным двигателем, предназначенным для привода нагнетателей газоперекачивающих агрегатов (ГПА) компрессорных станций магистральных газопроводов большой протяженности. Компоновка двигателя в разрезе дана на [рисунке 1](#).

Двигатель НК-12СТ обладает автоматическим запуском, при котором раскрутка ротора обеспечивается воздушным стартером, для привода которого используется газ, транспортируемый по газопроводу. При запуске стартер раскручивает ротор турбокомпрессора, а от него через соответствующие приводы вращение передается на агрегаты топливной и масляной систем, а также агрегаты управления механизацией компрессора.

Двигатель состоит из двух основных частей: турбокомпрессора (газогенератора) и свободной (силовой) турбины, включающих в себя узловые элементы: переднюю опору, осевой четырнадцати-ступенчатый компрессор, камеру сгорания кольцевого типа, трехступенчатую реактивную турбину, промежуточную опору (заднюю опору турбокомпрессора), цилиндрические проставки, служащие для выравнивания поля температур и давлений на входе в свободную (силовую) турбину, опору свободной (силовой) турбины, коробки приводов агрегатов двигателя, масляные насосы, обслуживающие двигатель и ГПА.

Кроме того, двигатель имеет агрегаты питания топливом, агрегаты системы смазки, агрегаты регулирования и управления двигателем, агрегаты запуска двигателя, агрегаты параметрического контроля и защиты, предупреждающие возникновение аварийных ситуаций.

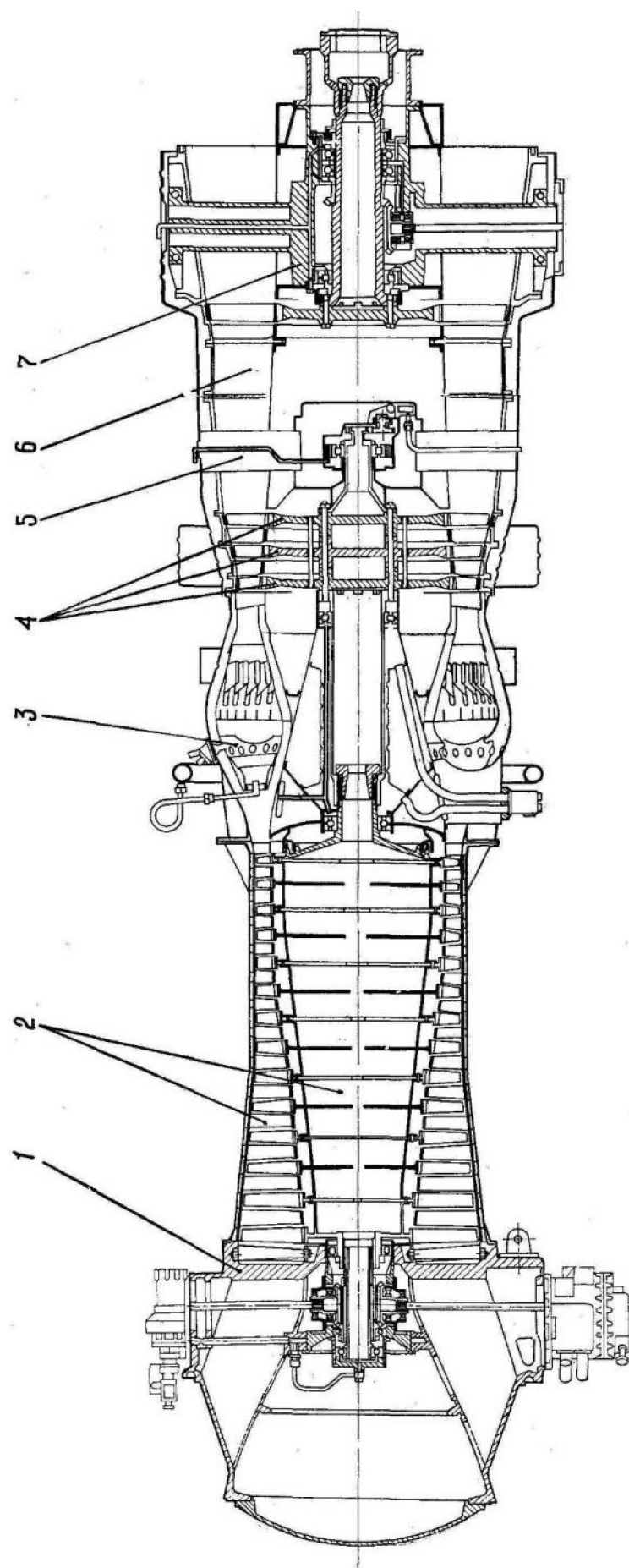


Рисунок 1 - Продольный разрез двигателя

1 – передняя опора; 2 – компрессор (статор и ротор); 3 – картер турбины с камерой сгорания; 4 – турбина ТК;
5 – промежуточная опора; 6 – проставка; 7 – свободная турбина.

1.2 Принцип работы двигателя

Воздух из атмосферы через входное очистительное устройство (ВОУ) газоперекачивающего агрегата и входной клапан передней опоры поступает на вход в компрессор, проходит через регулируемый входной направляющий аппарат компрессора, сжимается в осевом компрессоре и поступает в кольцевую камеру сгорания.

В камере сгорания воздушный поток делится на два: первичный поток (25%) и вторичный поток (75%).

Воздух первичного потока, перемешиваясь с топливным газом, поступающим через форсунки, участвует в процессе горения. Воздух вторичного потока, охлаждая стенки камеры сгорания, постоянно подмешивается к продуктам сгорания для получения необходимой температуры газа перед турбиной. Часть вторичного воздуха используется для охлаждения турбины компрессора.

Процесс сгорания идет при практически постоянном давлении в камере. Падение давления за счет гидравлических потерь в конце камеры сгорания составляет не более 3% от полного давления за компрессором.

Воспламенение смеси топливного газа и воздуха при запуске двигателя происходит от двух воспламенителей, состоящих из пусковой форсунки и запальной свечи.

Продукты сгорания, имеющие высокую температуру и давление при выходе из камеры сгорания, обладают большой потенциальной энергией.

Продукты сгорания из камеры поступают последовательно на три ступени турбины компрессора и одну ступень свободной турбины, где потенциальная энергия преобразуется в механическую работу на валу.

Мощность, потребляемая компрессором и агрегатами, соответствует мощности, развиваемой трехступенчатой турбиной. Избыток потенциальной энергии газа преобразуется в работу с помощью свободной турбины и передается на вал для привода центробежного нагнетателя газоперекачивающего агрегата.

За турбиной продукты сгорания выпускаются в атмосферу через выходную улитку ГПА.

2 СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Система автоматического регулирования двигателя НК-12СТ предназначена для подачи топливного газа в камеру сгорания и для получения требуемых параметров в заданных диапазонах изменения внешних факторов и рабочих характеристик двигателя.

К внешним факторам относятся условия окружающей среды (температура и давление воздуха), количество и параметры топливного газа и масла, загрузка свободной турбины и т.д. Диапазоны изменения рабочих характеристик (частоты вращения турбокомпрессора и свободной турбины, температуры газов перед турбиной и др.) установлены, исходя из условия оптимизации газодинамических и тепловых режимов, обеспечения прочности и безопасной эксплуатации.

Основным регулируемым параметром системы является частота вращения турбокомпрессора, величина которой устанавливается в зависимости от потребной производительности газового нагнетателя и автоматически поддерживается постоянной при изменении внешних условий за счет изменения частоты вращения свободной турбины.

Для расширения диапазона изменения мощностной характеристики двигателя предусмотрено регулирование угла установки лопаток ВНА турбокомпрессора в зависимости от приведенной частоты вращения (приведенные обороты).

Система регулирования выполняет следующие функции:

- 1) автоматическое изменение подачи топлива по времени при запуске и выводе двигателя на режим;
- 2) автоматическое поддержание минимальной частоты вращения турбокомпрессора — режим малого газа;
- 3) управление механизацией компрессора — клапанами перепуска воздуха и входным направляющим аппаратом;
- 4) ограничение максимальной частоты вращения турбокомпрессора и свободной турбины;
- 5) ограничение статического давления воздуха за компрессором (мощности двигателя);

6) ограничение температуры газов перед свободной турбиной на запуске и режиме;

7) прекращение подачи топлива по командам от агрегатов системы защиты двигателя и с пульта управления агрегатом.

Рабочим телом системы регулирования является масло, подаваемое из масляной системы двигателя насосом агрегатов регулирования.

Систему регулирования структурно можно разделить на топливную систему и систему управления механизацией компрессора.

Схема системы регулирования представлена на [рисунке 2](#).

2.1 Агрегаты топливорегулирующей системы

К топливорегулирующим агрегатам относятся:

- дозатор газа ДГ-12;
- регулятор оборотов ОГ-12;
- ограничитель оборотов ОГ-8-4;
- стопорный клапан.

2.1.1 Дозатор газа ДГ-12

Дозатор газа ДГ-12 является основным исполнительным органом топливной системы двигателя. Дозатор газа установлен справа снизу под углом 30 град, к горизонтальной оси (направление по полету) на картере компрессора. Совместно с регулятором оборотов турбокомпрессора ОГ-12, ограничителем оборотов свободной турбины ОГ-8-4 и агрегатами системы защиты дозатор газа обеспечивает:

- 1) включение и выключение подачи топливного газа в камеру сгорания;

2) поддержание постоянного давления масла в агрегатах системы регулирования;

3) автоматическое изменение подачи топливного газа по времени при запуске и приемистости;

4) ограничение расхода топлива в случае превышения допустимой температуры газов перед свободной турбиной;

5) поддержание постоянного весового расхода топлива при изменении его температуры;

6) ограничение расхода топлива в случае превышения допустимой максимальной частоты вращения турбокомпрессора ($n_{\text{тк}} = 8500$ об/мин) и свободной турбины ($n_{\text{ст}} = 8500$ об/мин);

7) ограничение расхода топлива в случае превышения допустимой мощности статического давления воздуха за компрессором $P_2 - P_{\text{н}}$.

Дозатор газа состоит из следующих основных узлов: корпуса, переходного фланца, дозатора автомата запуска, дозатора основного топлива, управляющих клапанов дозатора автомата запуска и дозатора основного топлива, дроссельных пакетов (замедлителей), редукционного клапана, ограничителя статического давления, клапана гидроостанова, электромагнитного клапана (МКТ-361).

Для подвода и отвода топливного газа на корпусе установлены два фланца. Соединение фланцев с трубопроводами подвода и отвода газа осуществлено хомутами, состоящими из двух половин, стянутых болтами. Уплотнение стыка обеспечивают металлические прокладки, расположенные в проточках фланцев дозатора. Корпус служит для размещения узлов и деталей агрегата.

Дозаторы автомата запуска и основного топлива предназначены для программного увеличения расхода топлива в процессе запуска двигателя (дозатор автомата запуска) и в процессе перехода с минимальных оборотов двигателя до рабочих (дозатор основного топлива). Изменение расхода топливного газа на режиме осуществляется через дозатор основного топлива.

Конструкция дозаторов полностью идентична. Каждый из них состоит из:

- дозатора;

- сильфонного узла;
- электромагнитного клапана.

Сильфонный узел является силовым приводным элементом, с помощью которого при изменении командного давления масла изменяется положение дозирующей иглы.

Электромагнитные клапаны МКТ-4-2 ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$ и $\mathcal{E}_{\text{ит}}$) 8 и 21 (см. [рисунок 3](#)) предназначены для дистанционного открытия и закрытия соответственно клапана слива масла из сильфона автомата запуска и клапана слива масла из сильфона дозатора основного топлива.

Электромагнитный клапан МКТ-4-2 состоит из корпуса, якоря с запорным устройством, пружины якоря и обмотки.

Управляющие клапаны дозаторов 11 и 18 (см. [рисунок 3](#)) предназначены для обеспечения изменения расхода топлива по времени.

Дроссельные пакеты Д1 и Д2 в совокупности с полостями Б и В (см. [рисунок 3](#)) корпуса обеспечивают программное замедление нарастания давления газа в сильфонах управляющих клапанов автомата запуска и дозаторов основного типа.

Редукционный клапан служит для поддержания постоянного давления масла в агрегатах систем регулирования двигателя. Клапан смонтирован в корпусе дозатора газа и состоит из золотника, пружины, втулки и пробки.

Ограничитель статического давления воздуха за компрессором служит для ограничения мощности двигателя при низких температурах окружающей среды. Он состоит из корпуса, узла сильфона с входящими деталями, рычага, клапана и регулировочного винта.

Электромагнитный клапан МКТ-361 предназначен для дистанционного управления клапаном останова путем открытия или закрытия канала слива масла из пружинной полости клапана останова.

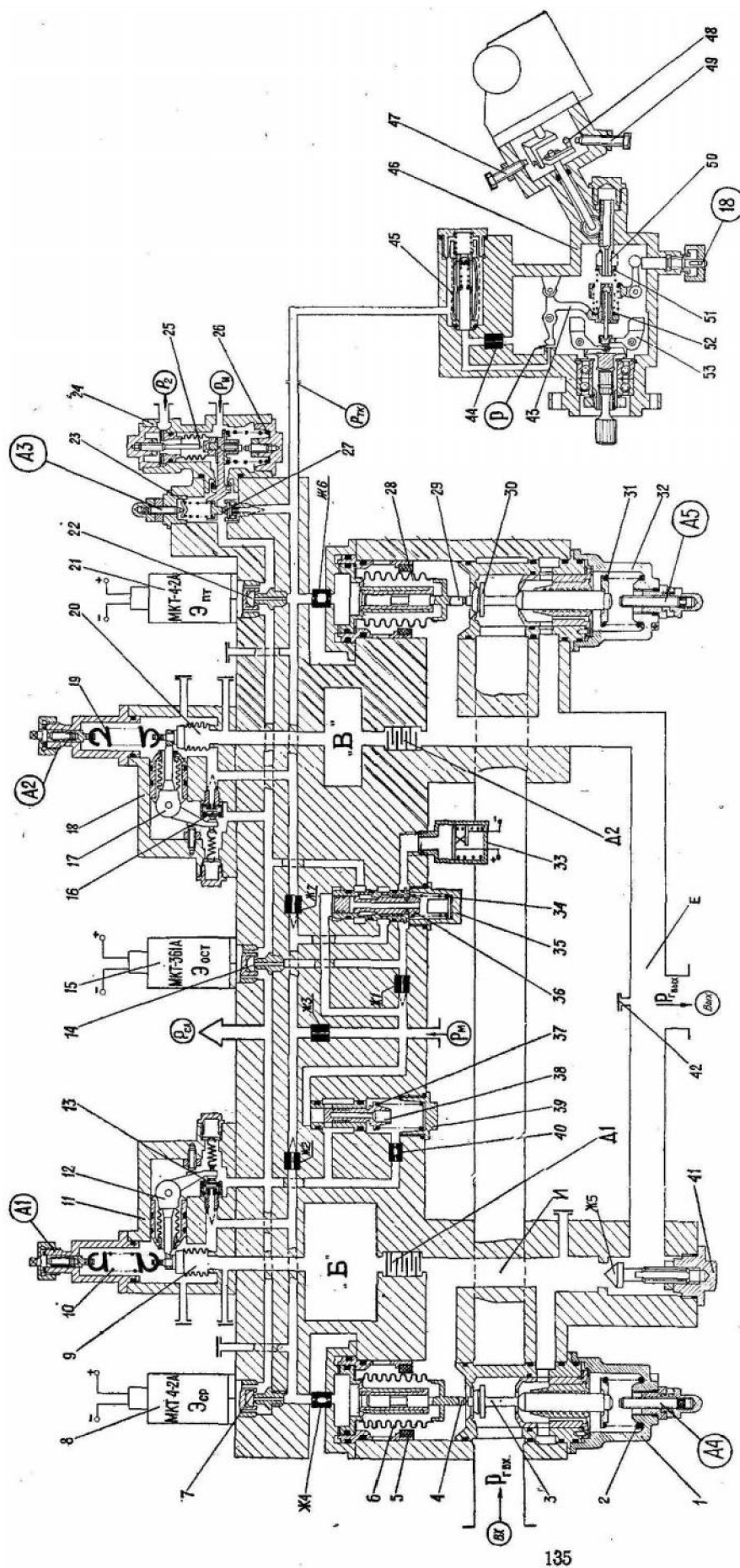


Рисунок 3 - Дозатор газа ДГ-12 и регулятор оборотов ОГ-12 (принципиальная схема работы)

1 - дозатор автомата запуска; 2, 31 - пружины дозаторов; 3 - игла автомата запуска; 4, 29 - опоры сильфонов; 5 - защитная втулка; 6 - сильфон автомата запуска; 7, 13, 14, 16, 22, 27 - клапаны; 8, 15, 21 - электромагнитные клапаны ($\Sigma_{\text{пр}}$; $\Sigma_{\text{от}}$; $\Sigma_{\text{пр}}$); 9, 20 - сильфоны управляющих клапанов; 10, 19, 23, 26, 34, 37, 51, 52 - пружины; 11 - управляющий клапан дозатора автозапуска; 12, 17 - рычаги; 18 - управляющий клапан дозатора основного топлива; 24 - ограничитель статического давления; 25 - сильфон; 28 - сильфон дозатора основного топлива; 30 - игла дозатора основного топлива; 32 - дозатор основного топлива; 33 - сигнализатор МСТ-15; 35 - клапан гидроостанова; 36 - золотник клапана гидроостанова; 38 - золотник редукционного клапана; 39 - редукционный клапан; 40 - жиклер; 41 - пробка; 42 - штуцер подвода газа к ССК; 43 - маятник; 44 - жиклер; 45 - фильтр с обратным клапаном; 46 - регулятор оборотов ОГ-12; 47 - регулировочный винт «Н» минимальной частоты вращения (нижний упор); 48 - регулировочные винты дозатора газа; 49 - регулировочный винт максимальной частоты вращения (верхний упор); 50 - рейка с термокомпенсатором; 53 - грузики; А1, А2, А3, А4, А5 - регулировочные винты дозатора газа; Д1, Д2 - дроссельные пакеты; Б, В - полости; Е, И - клапаны дозатора; Ж1, Ж2, Ж3, Ж4, Ж5, Ж6, Ж7 - жиклеры; Р - кромка маятника.

Конструкция и принцип работы электромагнитного клапана аналогичны конструкции электромагнитного клапана МКТ-4-2 автомата запуска и дозатора основного топлива.

2.1.2 Регулятор оборотов ОГ-12

Регулятор оборотов ОГ-12 предназначен для поддержания заданной частоты вращения на режиме малого газа, рабочих режимах и для ограничения максимальной частоты вращения турбокомпрессора.

Работа регулятора оборотов ОГ-12 (см. [рисунок 3](#)).

Регулятор оборотов предназначен для:

- поддержания заданной частоты вращения турбокомпрессора на режиме малого газа двигателя, при этом поводок 48 привода электромеханизма находится на нижнем упоре 47;
- поддержания заданной частоты вращения турбокомпрессора на рабочих режимах двигателя, при этом поводок 48 привода электромеханизма находится в промежуточном положении между упорами 47 и 49;
- ограничения максимальной частоты вращения турбокомпрессора, при этом поводок 48 привода электромеханизма находится на верхнем упоре 49.

Режим работы регулятора оборотов определяется положением рейки 50 с термокомпенсатором.

Перемещение рейки, то есть изменение режима работы двигателя, производится за счет поворота поводка 48 с валиком при подаче напряжения на электромеханизм МПК-14МТВ от системы автоматики агрегата ГПА-Ц-6,3.

На заданном режиме работы двигателя усилие от центробежных грузиков 53 уравнивается силой затяжки пружин 51 и 52. При этом положение кромки «Р» маятника 43 относительно клапана подвода масла обеспечивает слив масла, соответствующий заданной величине командного давления масла в сильфоне дозирующей иглы 30 дозатора основного топлива 32 в агрегате ДГ-12.

В случае отклонения частоты вращения ротора турбокомпрессора от заданной меняется усилие от центробежных грузиков, действующих на иглу. Под действием пружин маятник 43 кромкой «Р» прикрывает слив из полости командного давления

в сильфон дозатора основного топлива, вызывая увеличение расхода топливного газа, поступающего в газовый коллектор камеры сгорания.

При отклонении частоты вращения в сторону увеличения регулятор снижает расход топливного газа.

2.1.3 Ограничитель оборотов ОГ-8-4

Ограничитель оборотов ОГ-8-4 предназначен для (ограничения расхода топливного газа при повышении допустимого значения максимальной частоты вращения свободной турбины, то есть при $n_{ст} \geq 8500 \pm 50$ об/мин.

Ограничитель оборотов ОГ-8-4 работает совместно с дозатором газа ДГ-12.

Агрегат установлен на коробке приводов свободной турбины. Ограничитель оборотов состоит из:

- корпуса;
- датчика частоты вращения;
- рычажного механизма;
- термокомпенсатора с регулировочным винтом;
- золотникового клапана;
- механизма изменения настройки;
- шарикового клапана.

На агрегате установлены штуцеры подвода масла от дозатора газа, слива масла из агрегата и дренажа. Корпус агрегата литой, с системой каналов для подвода масла, слива и дренажа. В корпусе размещен датчик частоты вращения.

2.1.4 Сигнализатор давления МСТ-15С

Малогабаритный сигнализатор давления МСТ-15С выдает электрический сигнал при достижении давления масла 1,5 МПа на входе в ДГ-12 в процессе автоматического запуска (размыкание цепи 27В) и при падении давления масла на входе в ДГ-12 ниже 1,5 МПа на режиме (замыкание цепи 27В). Замыкание цепи на режиме приводит к срабатыванию системы защиты и аварийному останову двигателя.

Принцип работы сигнализатора основан на способности чувствительного элемента - мембраны прогибаться на определенную величину в зависимости от

величины давления. Прогибаясь, мембрана перемещает пружину с подвижным контактом, и контакты замыкаются или размыкаются.

Сигнализатор 33 (см. [рисунок 3](#)) установлен в корпусе дозатора газа в канале подвода масла к клапану останова за жиклером Ж1 на резьбе с уплотнением металлическим кольцом.

2.1.5 Стопорный клапан

Стопорный клапан предназначен для:

- надежного запираания канала подвода топливного газа к двигателю в период предпусковой подготовки и при запуске до подачи электрической команды на открытие клапана;
- открытия подвода топливного газа при запуске (при подаче напряжения на электромагнит ЭМТ-243);
- прекращения подвода топливного газа и запираания клапана при аварийном и нормальном остановах;
- автоматического останова работающего двигателя при исчезновении электропитания 27В в системе управления агрегата.

Стопорный клапан установлен в газоперекачивающем агрегате в магистрали подачи топливного газа к дозатору газа ДГ-12.

2.1.6 Работа агрегатов топливорегулирующей системы

Дозатор газа (см. [рисунок 3](#)) двигателя вступает в работу с момента подачи топливного газа на вход двигателя. В исходном положении дозирующие иглы обеспечивают перекрытие подачи топливного газа в камеру сгорания.

Перекрытие топливного тракта в процессе запуска осуществляется подачей напряжения на электромагнитные клапаны МКТ-4-2 (Ξ_{cp} и $\Xi_{лт}$), которые соединяют полости сильфонов 6, 28 дозирующих игл 3, 30 автомата запуска и дозатора основного топлива 32 со сливом.

Из-за разности площадей седел игл под действием давления топливного газа создается усилие, прижимающее иглы 3 и 30 к втулкам дозаторов, и тем самым отсекается подвод топливного газа к камере сгорания.

Давление масла P_m , подаваемого на вход агрегата от маслососа системы регулирования, нарастает при раскрутке компрессора стартером ВС-12 до давления настройки редуционного клапана 39. Через жиклеры Ж3, Ж4 и Ж7, Ж6 масло поступает в сильфоны автомата запуска и дозатора основного топлива, а через жиклер Ж1 — к золотнику 36 клапана останова 35.

Жиклеры-демпферы Ж1 и Ж6 служат для предотвращения передачи пульсаций давления в маслосистеме на исполнительные узлы автомата запуска и дозатора основного топлива.

При снятии напряжения с электромагнита МКТ-4-2 (\mathcal{E}_{cp}) в момент достижения ротором компрессора оборотов $n_{тк} = 1600 \dots 1800$ об/мин вступает в работу автомат запуска. При этом закрывается клапан 7 и начинается рост давления масла за жиклером Ж2.

По мере роста давления масла сильфон дозатора, преодолевая сопротивление пружины 2, а также усилие от воздействия топливного газа на дозирующую иглу 3, начинает перемещать опору сильфона 4 и открывает подачу топливного газа к рабочим форсункам камеры сгорания.

Давление масла в сильфоне 6 возрастает до момента открытия управляющего клапана 11 автомата запуска, который открывает слив масла, тем самым прекращая дальнейший рост давления в сильфоне 6. Раскрытие иглы при этом соответствует минимальному расходу топливного газа через автомат запуска. Топливный газ через дроссельный пакет Д1 и полость «Б» заполняет полость сильфона 9 управляющего клапана автомата запуска, что приводит к повышению давления газа в нем, закрытию управляющего клапана 11 и дальнейшему открытию дозирующей иглы.

В канале «И» установлен регулируемый жиклер Ж5. Жиклер Ж5 повышает давление газа в канале «И» относительно давления на рабочих форсунках и тем самым создает возможность увеличения перестановочного усилия, действующего на дозирующую иглу 3.

Предварительная настройка замедлителя, состоящего из дроссельного пакета Д1 и полости «Б», определяет характер увеличения расхода топливного газа по времени в процессе запуска.

Максимальный расход топливного газа через автомат запуска соответствует положению дозирующей иглы «на упор» в регулировочный винт *A4*. Корректировка величины максимального расхода топливного газа, проходящего через автомат запуска, может быть произведена изменением положения регулировочного винта *A4*.

Максимальный расход через автомат запуска обеспечивает достижение турбокомпрессором двигателя оборотов $n_{\text{тк}}=4500...5000$ об/мин, при этом снимается напряжение с электромагнита малого газа $\Xi_{\text{шт}}$.

Дальнейшее увеличение расхода топливного газа производится через дозатор основного топлива (ДОТ). До вступления в работу регулятора оборотов малого газа ОГ-12 на оборотах $n_{\text{тк}} = 6600 \pm 200$ об/мин работа ДОТ аналогична работе автомата запуска.

При достижении расхода топливного газа, необходимого для поддержания режима малого газа, рост давления в сильфоне 28 ДОТ прекращается перепуском масла за жиклером *Ж7* через маятниковый узел регулятора оборотов ОГ-12. Время изменения расхода топливного газа с режима малого газа на рабочий определяется характеристикой замедлителя, состоящего из дроссельного пакета *Д2* и полости «В» и работающего аналогично замедлителю автомата запуска. Задание требуемого режима работы двигателя осуществляется оператором настройкой регулятора оборотов турбокомпрессора ОГ-12 с помощью электромеханизма МПК-14МТВ.

При достижении расхода топливного газа, соответствующего настройке ограничителя оборотов ОГ-8-4, рост давления за жиклером *Ж7* прекращается перепуском масла через его маятниковый узел (см. [рисунк 2](#)).

Величина максимального расхода топливного газа через ДОТ соответствует упору дозирующей иглы *30* в регулировочный винт *A5*. Корректировка величины максимального расхода топлива через ДОТ, при необходимости, производится изменением положения регулировочного винта *A5*.

В случае превышения допустимой температуры газов T_5 перед свободной турбиной по команде усилителя регулятора температуры УРТ-19А-3У на обмотку электромагнита « $\Xi_{\text{ср}}$ » автомата запуска ДГ-12 подается напряжение в виде

импульсов определенной последовательности. При подаче напряжения электромагнит открывает слив масла через клапан 7 из сильфона дозирующей иглы автомата запуска.

Периодическое открытие слива масла приводит к уменьшению подачи («частичная срезка») топливного газа и соответственно ограничивает рост температуры газов перед турбиной как на запуске, так и при работе на режиме.

Одновременно с периодическим включением магнита «Э_{ср}» подается напряжение на электромеханизм регулятора оборотов ОГ-12 на снижение режима работы двигателя.

При низких температурах воздуха, поступающего в компрессор, двигатель может развивать мощность, превышающую максимальную. Пропорционально увеличению мощности растет и статическое давление воздуха на выходе из компрессора ($P_{2ст}$).

При превышении статического давления воздуха за компрессором относительно заданного срабатывает ограничитель статического давления воздуха 24 дозатора газа. Он настроен на перепад между давлением за компрессором и давлением на входе в компрессор ($P = P_{2ст} - P_n$). При срабатывании ограничителя открывается клапан 16 слива масла за жиклером Ж7, что приводит к уменьшению расхода топливного газа.

Регулирование величины перепада давления, при котором происходит срабатывание ограничителя статического давления 24, производится винтом А3 дозатора газа ДГ-12.

Редукционный клапан 39 дозатора газа поддерживает на входе в агрегаты системы регулирования давление масла, равное $P_m = P_{вх} - P_{сл} = 3 \text{ МПа}$, где $P_{вх}$ - давление масла на входе в дозатор газа; $P_{сл}$ - давление масла слива в дозаторе газа.

При возрастании давления масла на входе в дозатор газа золотник 38 клапана, преодолевая усилие затяжки пружины 37, перемещается, увеличивая слив (перепуск) масла, и давление масла восстанавливается. При уменьшении давления масла на входе слив (перепуск) уменьшается и давление в системе также остается постоянным. Усилие затяжки пружины 37, а соответственно и величина

настроечного давления, регулируется с помощью регулировочных шайб. Для устранения влияния пульсаций давления масла за насосом на работу клапана полость пружины 37 соединена со сливом через жиклер-демпфер 40.

При необходимости останова двигателя подается напряжение на электромагнитный клапан МКТ-361, который открывает слив масла за жиклером Ж1 через клапан 14. Давление масла в полости пружины 34 клапана гидроостанова 35 снижается, и золотник 36 под давлением масла, действующим на торец золотника, преодолевая усилие затяжки пружины, перемещается, открывая перепуск масла за жиклером Ж3 на слив. Падение давления за жиклером Ж3 приводит к резкому снижению давления масла в сильфонах дозирующих игл дозаторов автомата запуска и основного топлива. Под действием давления топливного газа иглы перемещаются и перекрывают доступ топливного газа в камеру сгорания — двигатель останавливается. Клапан гидроостанова срабатывает при разности давлений под золотником и в полости пружины, равной 0,3 МПа.

2.2 Агрегаты механизации компрессора системы регулирования двигателя

Механизация компрессора предназначена для оптимизации газодинамических и прочностных характеристик компрессора на различных режимах его работы путем перепуска части воздуха через специальные клапаны перепуска воздуха (КПВ) в процессе запуска, а также для обеспечения регулирования по мощности за счет изменения положения лопаток регулируемого входного направляющего аппарата (ВНА).

Для осуществления указанных функций в системе регулирования и управления двигателем, представленной на [рисунке 2](#), предусмотрены следующие агрегаты:

- агрегат управления АУ-10;
- агрегат управления перепуском АУП-10;
- воздушный редуктор;
- клапаны перепуска воздуха (гидроприводы);
- гидроусилитель ВНА.

2.2.1 Агрегат управления АУ-10

Агрегат управления АУ-10 предназначен для управления механизацией компрессора: поворотом лопаток ВНА, закрытием и открытием КПВ.

Агрегат управления работает совместно с АУП-10, воздушным редуктором, гидроприводами КПВ и гидроусилителем ВНА. Агрегат установлен на нижней половине картера компрессора.

2.2.2 Агрегат управления перепуском АУП-10

Агрегат управления перепуском АУП-10 предназначен для выдачи гидравлической команды на управление КПВ 1 и 5 на определенной приведенной частоте вращения ротора турбокомпрессора. Агрегат установлен на передней опоре.

2.2.3 Воздушный редуктор

Воздушный редуктор установлен на верхней половине картера компрессора и предназначен для понижения давления воздуха, поступающего к синхронизатору мощности СО-40 агрегатов АУ-10 и АУП-10 из-за четырнадцатой ступени компрессора, на заданную величину для управления положением лопаток ВНА и КПВ.

2.2.4 Клапаны перепуска воздуха

Для обеспечения устойчивой работы компрессора на переходных режимах и снижения мощности, потребной на запуск двигателя, в компрессоре предусмотрено устройство для перепуска воздуха.

Перепуск воздуха осуществлен с помощью пяти клапанов, смонтированных на фланцах 5 воздухосборников картера компрессора и закрепленных на них при помощи болтов 2 с шайбами 3, 4 ([рисунок 4](#)). Управление клапанами осуществляется агрегатами управления АУ-10 и АУП-10 системы регулирования двигателя.

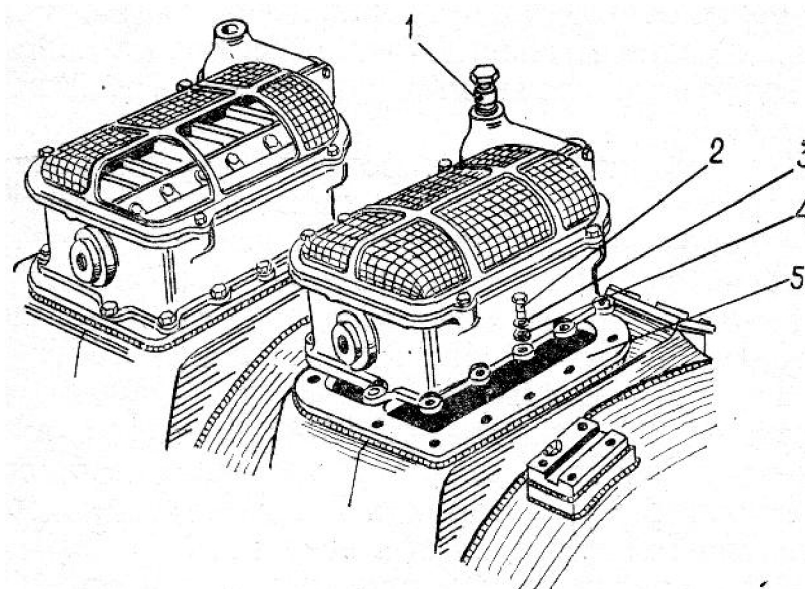


Рисунок 4 - Установка КПВ на картере компрессора

1 – полный болт подвода масла к гидроприводу КПВ; 2 – болт; 3,4 – шайбы;
5 – фланец.

На верхней половине картера смонтированы два клапана, осуществляющие перепуск воздуха в атмосферу из пятой и шестой ступеней, из восьмой и девятой ступеней (каждый клапан перепускает воздух одновременно из двух ступеней).

На нижней половине картера смонтированы три клапана, из которых два осуществляют перепуск из пятой и шестой ступеней и один — из восьмой и девятой ступеней.

КПВ по конструкции делятся на две группы: одну группу составляют первый и пятый КПВ, другую — второй, третий и четвертый КПВ.

2.2.5 Гидроусилитель входного направляющего аппарата

Регулируемый ВНА предназначен для обеспечения устойчивой работы компрессора в процессе запуска и расширения диапазона рабочих режимов двигателя за счет изменения угла установки всех лопаток на входе в компрессор позволяет обеспечить оптимальные условия для работы первой ступени компрессора. Положением лопаток ВНА в зависимости от режима работы двигателя управляет агрегат управления АУ-10 системы регулирования двигателя.

Гидроусилитель ВНА установлен на передней опоре и предназначен для изменения угла установки лопаток входного управляющего аппарата двигателя по командам агрегата управления АУ-10.

2.2.6 Работа агрегатов механизации компрессора в системе регулирования и управления двигателе

Рабочее масло P_m к агрегатам механизации компрессора поступает от насоса САР (см. [рисунок 2](#)) под постоянным давлением 3МПа, которое поддерживается редукционным клапаном дозатора газа ДГ-12.

Рабочее масло, поступающее к агрегату АУП-10, проходит через систему из двух последовательно расположенных жиклеров к синхронизатору мощности, формирующему командное масло для управления клапанами перепуска воздуха КПВ 1 и 5. Командное масло поступает от агрегата АУП-10 к золотниковому механизму управления КПВ 1 и 5 агрегата АУ-10.

Рабочее масло, поступающее к агрегату АУ-10, разделяется: одна часть подводится к электрогидравлическому узлу управления КПВ, а другая — через жиклер к синхронизатору мощности системы управления ВНА.

Подвод воздуха к обоим синхронизаторам мощности осуществляется из-за десятой (P_{10}) и четырнадцатой (P_{14}) ступеней компрессора.

Воздух из-за четырнадцатой ступени компрессора перед подачей к синхронизаторам мощности редуцируется воздушным редуктором ($P_{14\text{ред}}$). Мембранные полости синхронизаторов мощности объединены трубопроводами: полость *А* одного — с полостью *Б* другого. Это позволяет для отладки систем управления КПВ 1 и 5 и ВНА пользоваться одним регулировочным элементом — воздушным редуктором.

Во время проведения отладки интервал по приведенной частоте вращения между командами на управление КПВ 1 и 5 и ВНА остается неизменным, так как он задан затяжкой пружин синхронизаторов мощности регулировочными винтами.

Регулировка затяжки пружин синхронизаторов мощности производится при отладке агрегатов АУ-10 и АУП-10. Поэтому регулировка системы управления КПВ

и ВНА в составе двигателя заключается в отладке только оборотов открытия КПВ 1 и 5 на приведенной частоте $n_{отк}=(7600+50 \text{ об/мин})$.

Управление КПВ 2, 3, 4 (рисунок 5). При отсутствии напряжения на электромагнитах 2 и 3 золотники 10 и 13 усилием пружин 11 и 12 смещаются в верхнее (по схеме) положение, открывая при этом каналы подвода рабочего масла P_m к гидроприводам клапанов перепуска — КПВ 2, 3, 4 открываются. Для закрытия клапанов необходимо подать напряжение на электромагниты 2 и 3 (ЭМТ-4А).

Штоки электромагнитов, преодолевая усилие пружин 11 и 12, перемещают золотники 10 и 13 (по схеме на [рисунке 5](#)) в нижнее положение, перекрывая подвод рабочего масла к гидроприводам клапанов перепуска — КПВ 2, 3, 4 закрываются.

Напряжение на электромагниты агрегата АУ-10 подается по командам от системы автоматики газоперекачивающего агрегата.

Управление КПВ 1 и 5 (рисунок 5). Управление открытием и закрытием КПВ 1 и 5 производится на определенной приведенной частоте вращения компрессора, в зависимости от соотношения давлений воздуха за десятой и четырнадцатой ступенями компрессора. Датчиком командного давления масла является синхронизатор мощности 16 агрегата АУП-10.

При превышении усилия от давления воздуха в полости А (P_{10}) над усилием затяжки пружины 17 и давлением воздуха в полости В ($P_{14ред}$)

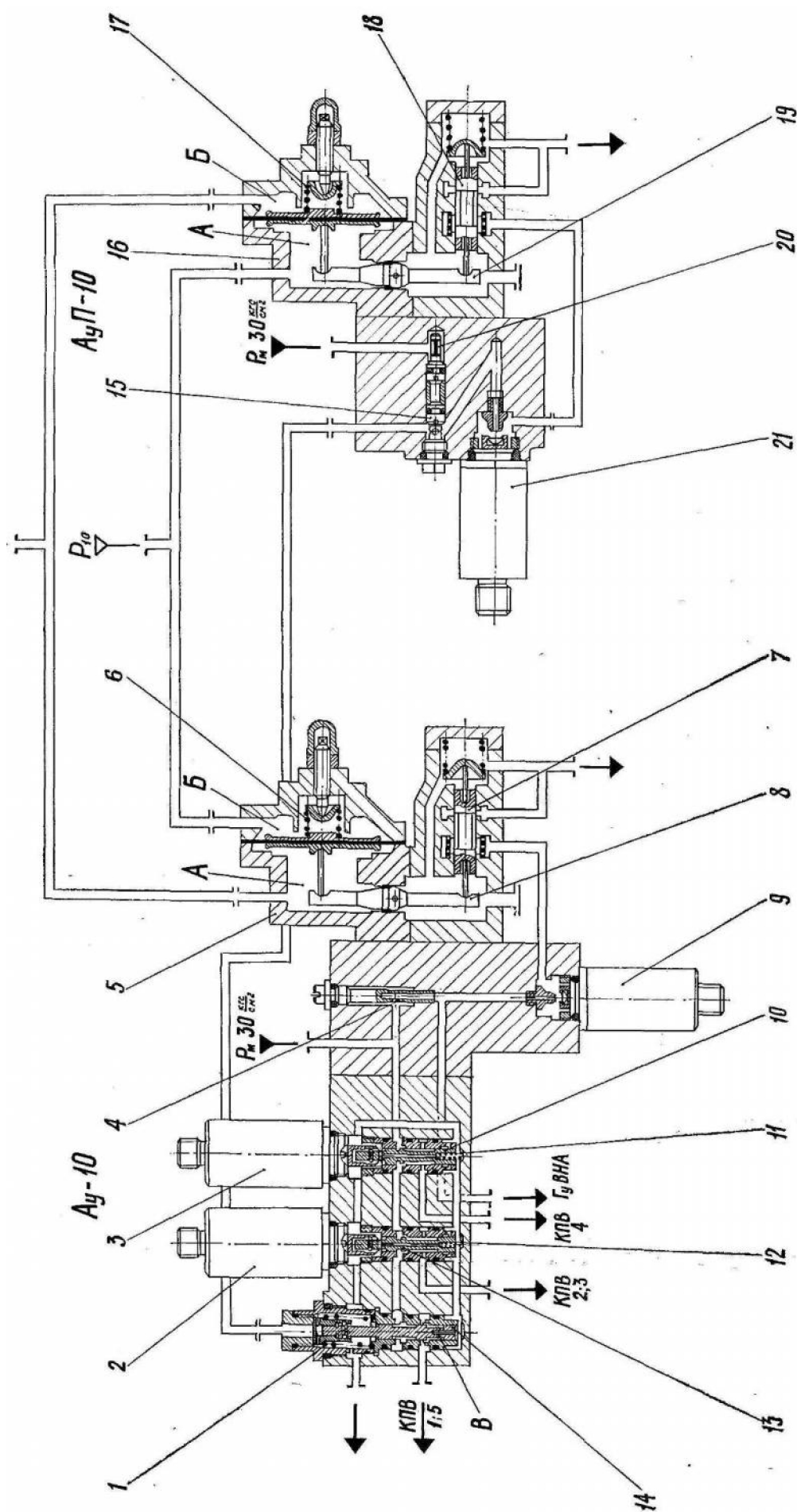


Рисунок 5 - Схема управления КПВ и ВНА

1, 6, 11, 12, 17 – пружина; 2, 3 – электромагнит ЭМТ-4А; 4, 15, 20 – жиклер; 5, 16 – синхронизатор мощности; 7, 10, 13, 14, 18 – золотник; 8, 19 – рычаг; 9, 21 – электромагнит ЭКТ-14; А, Б – воздушные полости синхронизатора мощности; В – отверстия дросселирующие слив масла из гидроприводов КПВ 1 и 5, P_{10} – подвод статического давления за 10 ступенью компрессора; P_{14} – подвод редукционного давления за 14 ступенью компрессора; P_M – подвод масла от системы регулирования двигателя; КПВ – отвод масла к КПВ 1 и 5; КПВ2 – отвод масла к КПВ 2 и 3, ГувНА – отвод масла к гидроусилителю ВНА; КПВ4 – отвод масла к КПВ4.

мембрана синхронизатора прогибается и перемещает золотник 18 с помощью рычага 19 (по схеме на [рисунке 5](#)) влево. Золотник 18 своей кромкой перекрывает слив масла из канала за жиклерами 15 и 20 — канала, в котором формируется командное давление масла, отводимое к агрегату АУ-10, для управления КПВ 1 и 5. Уменьшение слива приводит к увеличению командного давления. Под действием возросшего командного давления происходит перемещение вниз золотника 14 агрегата АУ-10.

Золотник 14 своими кромками закрывает слив из полости над поршнями гидроприводов КПВ 1 и 5 через отверстия «В» золотника 14 и открывает подвод к ним рабочего масла — КПВ 1 и 5 открываются.

При повышении режима работы двигателя давление воздуха в полости В ($P_{14\text{ред.}}$) возрастает более интенсивно, чем в полости А (P_{10}). Это приводит к перемещению золотника 18 (по схеме на [рисунке 5](#)) вправо. Золотник своей кромкой увеличивает слив масла за жиклерами 15 и 20. Командное давление масла уменьшается до величины давления слива. Золотник 14 агрегата АУП-10 под действием пружины 1 перемещается (по схеме) вверх, отсекая подвод рабочего масла к поршням гидроприводов КПВ 1 и 5 и подсоединяя их к сливу через отверстия В золотника 14. КПВ 1 и 5 закрываются.

Время закрытия КПВ 1 и 5 увеличено до 2...3 секунд за счет дросселирования масла через сечения отверстий В.

Во время запуска двигателя с управлением КПВ 1 и 5 по приведенной частоте компрессора перестройка регулятора частоты вращения турбокомпрессора ОГ-12 заканчивается после полного закрытия КПВ 1 и 5 — по сигналу концевиков «закрытого» положения. В результате этого увеличение времени закрытия КПВ 1 и 5 позволяет после окончания запуска двигателя получить более высокую приведенную частоту вращения компрессора, чем та, на которой происходит открытие КПВ 1 и 5.

Агрегатом предусмотрено принудительное открытие КПВ 1 и 5 и в случае возникновения аварийной ситуации. Для этого на агрегате АУП-10 установлен электромагнитный клапан 21 (МКТ-14). При подаче на него напряжения клапан

отсекает слив масла через золотник 18 синхронизатора мощности 16. Командное давление масла возрастает до величины давления рабочего масла, и КПВ 1 и 5 открываются.

Управление ВНА ([рисунок 5](#)). Изменение угла установки лопаток ВНА компрессора в заданном диапазоне производится по приведенным оборотам ротора турбокомпрессора. В качестве сигнала приведенных оборотов используется соотношение давлений воздуха десятой и четырнадцатой ступеней компрессора. Датчиком командного давления масла, пропорционального отношению давлений воздуха, является синхронизатор мощности СО-40 агрегатов АУ-10 и АУП-10.

Перепад давления воздуха на мембране синхронизатора СО-40 определяет величину командного давления масла и соответственно угол установки лопаток ВНА.

При превышении давления редуцированного воздуха в полости «А» над давлением в полости «Б» мембрана синхронизатора СО-40 прогибается и перемещает золотник 7 через рычаг 8 (по схеме на [рисунке 5](#) влево). Это приводит к увеличению давления масла, подводимого к гидроусилителю ВНА, за счет уменьшения слива через отверстия во втулке 16 синхронизатора мощности СО-40.

Повышение величины давления масла приводит к перемещению поршня гидроусилителя ВНА, а через привод — к изменению угла установки лопаток ВНА.

При снижении режима работы двигателя давление воздуха в полости «А» синхронизатора уменьшается. Это приводит к перемещению золотника 7 на увеличение слива масла, а поршня гидроусилителя ВНА — на увеличение угла установки лопаток ВНА.

Перекладку лопаток ВНА в диапазоне от угла 28 град, («закрыт») до угла 16 град, («открыт») в процессе работы двигателя обеспечивает синхронизатор мощности СО-40.

Для обеспечения угла установки лопаток ВНА в положение «открыт» (угол 16 град.) при запуске и остановке в агрегате предусмотрен электромагнитный клапан 9 (МКТ-14).

При подаче напряжения на электромагнит якорь магнита перемещает запорное устройство и перекрывает подвод масла через седло к золотнику 7 синхронизатора. В результате этого прекращается слив масла и нарастает давление масла, подводимого к гидроусилителю ВНА, поршень которого перемещается до упора.

После выхода двигателя на режим малого газа (и после полного останова) напряжение с электромагнита снимается, и полость гидроусилителя сообщается со сливом через золотник СО-40. Лопатки ВНА устанавливаются на угол 28 град.

Агрегаты механизации управления ВНА настраиваются на обеспечение начала перекладки лопаток ВНА (с угла 28 град.) при частоте вращения ротора турбокомпрессора $n_{\text{TK}}=7700$ об/мин. Заканчивается перекладка (до угла 16 град.) при $n_{\text{TK}}=8000$ об/мин. Обратная перекладка (с 16 град, на 28 град.) должна заканчиваться при $n_{\text{TK}}=7700$ об/мин.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие основные функции системы регулирования двигателя?
2. Какие агрегаты входят в состав топливорегулирующей системы?
3. Из чего состоит дозатор?
4. Для чего предназначен электромагнитный клапан МКТ-361?
5. Для чего предназначен регулятор оборотов?
6. Из чего состоит ограничитель оборотов?
7. Для чего предназначен программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК-150?
8. Какие агрегаты относятся к агрегатам запуска?
9. Какие агрегаты относятся к агрегатам регулирования подачи топлива?
10. Зачем нужна механизация компрессора?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мельников, А.И. Двигатель НК-12СТ серии 02 // Техническое описание турбовального двигателя со свободной турбиной 1985. – 191 с.
2. Петров, И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В.П. Дьяконова.-М.:СОЛОН-Пресс, 2004. - 256с.
3. Петров И.В., Вагнер Р., Долл В. Отладка прикладных ПЛК программ в CoDeSys. Промышленные АСУ и контроллеры. - 2007.
4. Загаров Г.З., Прошунин В.А. Газотурбинный двигатель НК-12СТ: техническое описание – Куйбышев, 1985. - 192 с.
5. Бергер И.А., Шорр Е.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин: справочник / 3-е изд. переработанное и дополненное. – М.:Машиностроение, 1973.-352 с.